

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-127647

(43)Date of publication of application : 11.05.2001

(51)Int.Cl.

H03M 13/29

G11B 20/18

H03M 13/13

H03M 13/45

(21)Application number : 11-301519

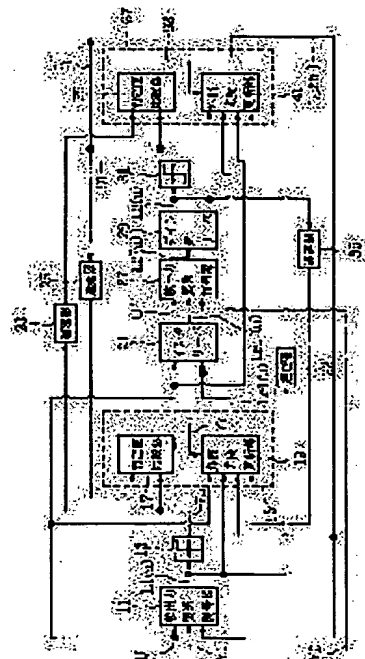
(71)Applicant : KEIO GIJUKU

(22)Date of filing : 22.10.1999

(72)Inventor : ARIYOSHI MASAYUKI
SASASE IWAO**(54) DECODER FOR PARALLEL CONSECUTIVE CODE, DECODING METHOD, AND STORAGE MEDIUM RECORDING DECODING PROGRAM****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the error correction capability in a decoder for parallel consecutive codes (turbo codes) in order to cope with an environment with a low S/N.

SOLUTION: The decoder for parallel consecutive codes of this invention is provided with a soft output element decoding section 11 that receives a communication path organization series U, communication path redundant information series Y1 and external likelihood information Le2 (u) and outputs soft output likelihood value L1 (u) and with a likelihood update processing section 15 that compares the preceding soft output likelihood value L2 (u) with this soft output likelihood value L1 (u) to selectively update succeeding external likelihood information Le1 (u).

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-127647
(P2001-127647A)

(43) 公開日 平成13年5月11日 (2001.5.11)

(51) IntCl.⁷
H 0 3 M 13/29
G 1 1 B 20/18
H 0 3 M 13/13
13/45

識別記号
5 3 4

F I
H 0 3 M 13/29
G 1 1 B 20/18
H 0 3 M 13/13
13/45

キーワード (参考)
5 J 0 6 5

5 3 4 A

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-301519

(22) 出願日 平成11年10月22日 (1999. 10. 22)

(71) 出願人 899000079

学校法人 慶應義塾
東京都港区三田2丁目15番45号

(72) 発明者 有吉 正行

神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号
慶應義塾大学 理工学部内

(72) 発明者 笹瀬 巖

神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号
慶應義塾大学 理工学部内

(74) 代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔 (外2名)

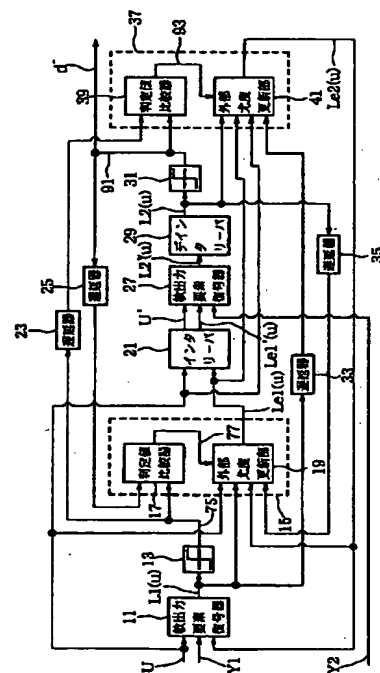
Fターム (参考) 5J065 AA01 AB01 AC03 AD10 AD13
AED6 AF01 AG07 AH15

(54) 【発明の名称】 並列連接符号の復号器、復号方法及び復号プログラムを記録した記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 信号対雑音比が低い環境に対処すべく、並列連接符号 (ターボ符号) の復号器における誤り訂正能力の向上を図る。

【解決手段】 本発明の並列連接符号の復号器は、通信路組織情報系列U、通信路冗長情報系列Y1及び外部尤度情報Le2(u)を入力して軟出力尤度値L1(u)を出力する軟出力要素復号部11と、前回の軟出力尤度値L2(u)と今回の軟出力尤度値L1(u)とを比較して次回の外部尤度情報Le1(u)を選択的に更新する尤度更新処理部15と、を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新部と、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号器。

【請求項2】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新部と、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号器。

【請求項3】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新部と、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号器。

【請求項4】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新ステップと、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号方法。

【請求項5】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新ステップと、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号方法。

【請求項6】 通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新ステップと、を備えることを特徴とする並列接続符号の復号方法。

【請求項7】 コンピュータを、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項8】 コンピュータを、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後

尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項9】 コンピュータを、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、情報通信システム又は情報記録システム等に適用される並列接続符号（ターボ符号）の復号器に関し、特に、信号対雑音比特性が低い環境におけるビット誤り率特性を向上する並列接続符号の復号器、復号方法及び復号プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】 ターボ符号の名で知られる並列接続符号は、シャノン限界に極めて近い特性を与える符号として注目されている。図8及び図9は、公知のターボ符号器及び復号器の構成を示すブロック図である。図8は符号化率 $r=1/3$ のターボ符号器を示しており、要素符号器101、103と、インタリーブ105とを備えている。被符号化ビット系列dは分岐されて組織ビット系列uとして送出されると共に、要素符号器101とインタリーブ105とに入力される。

【0003】 要素符号器101は、誤り訂正符号（以下、要素符号と呼ぶ）により被符号化ビット系列dを符号化して冗長ビット系列y1を出力する。インタリーブ105は、一般的に被符号化ビット系列dを一度メモリに書き込み、これを異なる順序で読み出すことにより、データの順序を攪拌して要素符号器103に送出する。要素符号器103は、インタリーブされた被符号化ビット系列を要素符号により符号化して冗長ビット系列y2を送出する。要素符号器101、103には、再帰的組織畳込み符号器（RSC: Recursive Systematic Convolutional Encoder）が通常用いられる。

【0004】 図9に示すターボ復号器は、軟出力要素復号器（Soft Output Decoder）113、117と、インタリーブ115と、デインタリーブ119と、遅延器34、36及び硬判定器121とを備える。軟出力要素復号器113は、組織ビット系列uに対応する通信路組織情報系列Uと、冗長ビット系列y1に対応する通信路冗長情報系列Y1、及び外部尤度情報Le2(u)（初期値は0とする）を入力し、組織ビット系列uの軟出力尤度値L1

3

(u) (図示せず) を計算する。この軟出力尤度値 $L1(u)$ には、復号結果に該復号結果の信頼度情報が添えられている。

【0005】軟出力要素復号器 113 は更に、組織ビット系列 u の軟出力尤度値 $L1(u)$ と通信路組織情報系列 U と外部尤度情報 $Le2(u)$ とから外部尤度情報 $(Le1(u)=L1(u)-U-Le2(u))$ を出力する。インタリープ 115 は、外部尤度情報 $Le1(u)$ と遅延器 34 を介して通信路組織情報系列 U を各々入力して、インタリープされた外部尤度情報 $Le1'(u)$ 及び通信路組織情報系列 U' を軟出力要素復号器 117 に送出する。

【0006】軟出力要素復号器 117 は、インタリープされた外部尤度情報 $Le1'(u)$ 及び通信路組織情報系列 U' に加えて、遅延器 36 を介して冗長ビット系列 $y2$ に対応する通信路冗長情報系列 $Y2$ とを入力して、インタリープされた軟出力尤度値 $L2'(u)$ を送出すると共に、該インタリープされた軟出力尤度値 $L2'(u)$ 及び通信路組織情報系列 U' と、外部尤度情報 $Le1'(u)$ とから外部尤度情報 $(Le2'(u)=L2'(u)-U'-Le1'(u))$ を生成してデインタリープ 119 に送出する。

【0007】デインタリープ 119 は、インタリープ 115 によるデータの入れ替え順番とは逆の順番に出力する。すなわち、インタリープされた軟出力尤度値 $L2'(u)$ 及び外部尤度情報 $Le2'(u)$ の各々をインタリープ前の順序に戻し、軟出力尤度値 $L2(u)$ 及び外部尤度情報 $Le2(u)$ として出力する。さらに、硬判定器 121 は、軟出力尤度値 $L2(u)$ を硬判定して最終復号結果 d^* を出力する。外部尤度情報 $Le2(u)$ は、次の復号処理のために、軟出力要素復号器 113 にフィードバックされる。

【0008】以上のように、図 9 に示すターボ復号器では、組織ビット系列 u の軟出力尤度値 $L1(u)$ 及び $L2(u)$ を更新しながら復号処理を繰り返し行い、複数回のループの後、軟出力要素復号器 117 からの軟出力尤度値 $L2(u)$ が硬判定される。また、軟出力要素復号器 113, 117 において用いられるアルゴリズムとしては、最大事後確率 (MAP: Maximum A Posteriori Probability) 復号、MAP 復号の演算量を削減した MAX-log-MAP、軟出力ビタビアルゴリズム (SOVA: Soft Output Viterbi Algorithm) 復号等が知られている。

【0009】さらに、実際のターボ符号の復号では、所定回数の繰返し復号処理を経た後、更なる繰返し処理の特性改善に繋がらない場合には、計算量及び処理遅延の観点から復号処理が停止される。復号処理を停止する規範としては、軟出力要素復号器 117 の硬判定結果を観測し、変化がなければ復号を停止する方法が知られている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ターボ符号がシャノン限界に極めて近い特性を示す高性能な符号であること

4

は、これまでの様々な研究結果から明らかであるが、移动通信システム等において通信路符号化方式として適用される場合には、通信路の信号対雑音比が十分でない状況がしばしば発生する。このため、ターボ符号の復号器において、特に信号対雑音比が低い環境下で誤り訂正能力がより向上されることが望まれる。また、ターボ符号及び復号システムは、情報源のアプリケーションとして音声の双方向通信に適用される場合もあり、処理遅延時間を短縮化することが望まれる。

【0011】図 8 及び図 9 に示したターボ符号及び復号方法では、上述の通り、組織ビット系列 u の軟出力尤度値 $L1(u)$, $L2(u)$ 、及び外部尤度情報 $Le1(u)$, $Le2(u)$ のみを更新して復号処理を繰返ししている。すなわち、軟出力要素復号器 113, 117 へ入力する通信路組織情報系列 U 、及び通信路冗長情報系列 $Y1, Y2$ は繰返し復号処理の過程で更新されない。

【0012】信号対雑音比が低い環境下では、軟出力要素復号器 113 への入力である通信路組織情報系列 U 、及び通信路冗長情報系列 $Y1, Y2$ に多くの雑音成分が含まれる。通信路組織情報系列 U の信頼度が低く、ある通信路組織情報系列 U について軟出力尤度値 $L1(u)$ と $L2(u)$ の符号が異なるか、又は繰返し復号処理を進めても軟出力尤度値 $L1(u)$ と $L2(u)$ の符号が反転を繰返して収束しない場合には、ビット誤り率が著しく劣化する。

【0013】この劣化原因は、軟出力尤度値 $L1(u)$ と $L2(u)$ の符号が異なる場合には何れかの尤度値に誤りがあるにも関わらず、その誤りのある可能性を含んだ尤度値を次の要素復号における外部尤度情報 $Le2(u)$ 又は $Le1(u)$ として用いることにあり、その影響が繰返し復号処理の過程に存在し続けるためであると考えられる。また、通信路冗長情報系列 $Y1, Y2$ の信頼度が低い場合には、毎回の復号処理の過程において、軟出力尤度値 $L1(u)$, $L2(u)$ の絶対値の増加を抑制する原因となり、繰返し復号の回数を増やしても特性は改善されない。

【0014】以上の問題は、信号対雑音比が低い環境下において復号特性が悪化するばかりでなく、上記の復号処理停止規範に従う場合、処理を停止するまでの繰返し回数が増加してしまい処理遅延時間が増大する。本発明の目的は、信号対雑音比が低い環境下におけるターボ符号の復号特性を改善する復号器、復号方法及び復号プログラムを記録した記録媒体を提供することにある。

【0015】また、本発明の他の目的は、復号処理過程において、軟出力尤度値 $L1(u)$, $L2(u)$ 及び外部尤度情報 $Le1(u)$, $Le2(u)$ に加えて、軟出力要素復号器に入力される通信路情報 $U, Y1, Y2$ も適宜更新することにより、繰返し復号処理で扱う尤度情報の信頼度を高めることにより特性を改善する復号器、復号方法及び復号プログラムを記録した記録媒体を提供することにある。

【0016】さらに、本発明の他の目的は、少ない繰返し復号処理により所定の復号特性を得ることにより、復

5

号処理を完了するまでの処理遅延時間の短縮化を図る復号器、復号方法及び復号プログラムを記録した記録媒体を提供することにある。より詳しくは、上述のように軟出力尤度値の信頼度を向上することにより、軟出力尤度値 $L1(u)$ と $L2(u)$ の符号が異なる確率を下げ、復号停止規範に沿うまでの収束性を高め、誤り率を改善しつつ、処理遅延時間を短縮化することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明の並列接続符号の復号器は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新部と、を備えるものである。

【0018】また、他の観点において本発明の並列接続符号の復号器は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新部と、を備えるものである。

【0019】さらに、他の観点において本発明の並列接続符号の復号器は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新部と、を備えるものである。

【0020】本発明の並列接続符号の復号方法は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新ステップと、を備えるものである。

【0021】また、他の観点において本発明の並列接続符号の復号方法は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新ステップと、を備えるものである。

【0022】さらに、他の観点において本発明の並列接続符号の復号方法は、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号ステップと、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新ステップと、を備えるものである。

【0023】本発明は、コンピュータを、通信路組織情

6

報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と今回の前記事後尤度情報とを比較して次の前記事前尤度情報を選択的に更新する事前尤度更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0024】また、他の観点において本発明は、コンピュータを、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路組織情報系列とを比較して前記通信路組織情報系列を選択的に更新する組織情報系列更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0025】さらに、他の観点において本発明は、コンピュータを、通信路組織情報系列、通信路冗長情報系列及び事前尤度情報を入力して事後尤度情報を出力する軟出力要素復号部と、前回の前記事後尤度情報と前記通信路冗長情報系列とを比較して前記通信路冗長情報系列を選択的に更新する冗長情報系列更新部と、を備える並列接続符号の復号器として機能させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を添付図面と対応して以下に詳細に説明する。図1は、本発明の第1実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。図1に示すターボ符号の復号器は、例として符号化率 $r = 1/3$ の構成を示し、2つの軟出力要素復号器11、27を有している。

【0027】本実施の形態に係るターボ符号の復号器は、軟出力要素復号器 (Soft Output Decoder) 11、27と、インタリーバ21と、デインタリーバ29と、硬判定器13、31と、遅延器23、25、33及び35、及び尤度更新処理部15、37とを備え、尤度更新処理部15 (37) は、判定値比較器 (Decision Bit Comparison) 17 (39) と外部尤度更新部 (External Likelihood Update Unit) 19 (41) とにより構成される。

【0028】本実施の形態では、軟出力要素復号器11からの軟出力尤度値 $L1(u)$ の硬判定結果75と、軟出力要素復号器27からの軟出力尤度値 $L2(u)$ の硬判定結果91とを尤度更新処理部15、37の各々において比較し、該比較結果に基づいて次の軟出力要素復号器への入力となる外部尤度情報 $Le1(u)$ 、 $Le2(u)$ を生成する。

【0029】軟出力要素復号器11は、ターボ符号器 (図8参照) からの組織ビット系列 u に対応する通信路組織情報系列 U 、及び冗長ビット系列 $y1$ に対応する通信路冗長情報系列 $Y1$ とに加えて、前回の繰返し復号によるフィードバック成分としての外部尤度情報 $Le2(u)$

10

20

30

40

50

7

を入力して軟出力復号を行い、組織ビット系列 u の軟出力尤度値 $L1(u)$ を出力する。この軟出力尤度値 $L1(u)$ は、尤度更新処理部15の外部尤度更新部19に直接入力すると共に、硬判定器13に入力して硬判定が行われ、硬判定結果75として尤度更新処理部15の判定値比較器17に入力される。

【0030】軟出力尤度値 $L1(u)$ 、 $L2(u)$ は、組織ビット系列 u の尤度情報として軟出力要素復号器11、27から出力される。所定回数の繰返し復号処理の後に、軟出力尤度値 $L1(u)$ 又は $L2(u)$ の符号が最終的な復号出力となる。したがって、ある通信路組織情報系列 U について軟出力尤度値 $L1(u)$ と $L2(u)$ の符号が異なる場合には、どちらかの尤度値が誤りを含むことになる。誤った尤度値を次の軟出力要素復号における外部尤度情報 $Le2(u)$ として用いることによる復号性能の劣化を避けるため、本実施の形態に係るターボ符号の復号器では、軟出力要素復号器11、27の外部に、軟出力尤度値 $L1(u)$ 、 $L2(u)$ の各々に対応する尤度更新処理部15、37を設けている。

【0031】尤度更新処理部15の判定値比較器17は、軟出力尤度値 $L1(u)$ に対応する硬判定結果75と、遅延器25を介して軟出力尤度値 $L2(u)$ に対応する硬判定結果91とを入力して比較を行い、比較結果77を外部尤度更新部19に送出する。

【0032】外部尤度更新部19は、軟判定尤度値 $L1(u)$ 、 $L2(u)$ 及び外部尤度情報 $Le2(u)$ を入力し、比較結果77に基づいて所定の更新処理を実行する。例えば、硬判定結果75、91が等しい旨を示す比較結果77を入力した場合には、軟出力要素復号器11から出力された軟出力尤度値 $L1(u)$ を更新せずにそのまま用いる。

【0033】また、硬判定結果75、91が異なる旨を示す比較結果77が入力された場合には、例えば軟出力尤度値 $L1(u)$ と軟出力尤度値 $L2(u)$ との平均値を求めて新たな軟出力尤度値 $L1(u)$ （図示せず）に更新して出力する。なお、尤度値をより積極的に利用するために、各軟出力尤度値 $L1(u)$ 、 $L2(u)$ の尤度値に所定の重み付けをした後に平均値を求めても良い。更新された軟出力尤度値 $L1(u)$ の絶対値は、硬判定結果75、91が異なる旨を示す比較結果77が出力された場合には、より小さな値となる。

【0034】さらに、外部尤度更新部19は、更新された軟出力尤度値 $L1(u)$ を用いて外部尤度情報($Le1(u)=L1(u)-U-Le2(u)$)を求め、インタリープ21へ送出する。インタリープ21は、通信路組織情報系列 U と外部尤度情報 $Le1(u)$ を入力し、所定の読出し順序に基づいて読み出すことで各データを攪拌し、インタリープされた通信路組織情報系列 U' 及び外部尤度情報 $Le1'(u)$ を送出する。

【0035】軟出力要素復号器27は、インタリープされた組織ビット系列に対応する通信路組織情報系列 U' 及び外部尤度情報 $Le1'(u)$ に加えて、冗長ビット系列(y

8

2、図8参照)に対応する通信路冗長情報系列 $Y2$ を入力して軟出力復号を行い、インタリープされた軟出力尤度値 $L2'(u)$ を出力する。

【0036】インタリープされた軟出力尤度値 $L2'(u)$ のデータはインタリープ21により攪拌された順序にあり、デインタリープ29によりインタリープ21とは逆の読出し順序に基づいて攪拌され、元の順序の軟出力尤度値 $L2(u)$ が生成される。軟出力尤度値 $L2(u)$ は、硬判定器31に入力して硬判定され、硬判定結果91が尤度更新処理部37の判定値比較器39に入力される。

【0037】尤度更新処理部37の判定値比較器39は、軟出力尤度値 $L2(u)$ に対応する硬判定結果91と、遅延器23を介して前回の軟出力尤度値 $L1(u)$ に対応する硬判定結果75とを入力して比較を行い、比較結果93を外部尤度更新部41に送出する。

【0038】外部尤度更新部41は、軟出力尤度値 $L2(u)$ と、遅延器23を介して前回の軟出力尤度値 $L1(u)$ と、通信路組織情報系列 U 及び外部尤度情報 $Le1(u)$ とを入力し、比較結果93に基づいて上述の尤度更新処理部15と同じ更新処理を実行する。例えば、硬判定結果75、91が等しい旨を示す比較結果93を入力した場合には、軟出力要素復号器27から出力された軟出力尤度値 $L2(u)$ を更新しないでそのまま用いる。

【0039】また、硬判定結果75、91が異なる旨を示す比較結果93を入力した場合には、例えば軟出力尤度値 $L1(u)$ と軟出力尤度値 $L2(u)$ との平均値を求めて新たな軟出力尤度値 $L2(u)$ として更新する。上述したように、尤度値をより積極的に利用するために、各軟出力尤度値73、89の尤度値に所定の重み付けをした後に平均値を求めても良い。更新された軟出力尤度値 $L1(u)$ の絶対値は、硬判定結果75、91が異なる旨を示す比較結果93が出力された場合には、より小さな値となる。

【0040】さらに、外部尤度更新部41は、更新された軟出力尤度値 $L2(u)$ を用いて外部尤度情報($Le2(u)=L2(u)-U-Le1(u)$)を求め、次の軟出力復号に対応する外部尤度更新部19へフィードバックする。図2は、本発明の第2実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。なお、前述の第1実施の形態における構成要素（又は信号）と同じ機能（又は性質）を有する構成要素（又は信号）には、同一符号を付して説明を省略する。

【0041】前述の第1実施の形態に係るターボ符号の復号器と比較して、本実施の形態に係るターボ符号の復号器は、同一構成の組織情報系列更新部43、44を更に備える。この組織情報系列更新部43、44により、組織ビット系列 u （図8参照）に対応する通信路組織情報系列 U 、インタリープされた通信路組織情報系列 U' の各々が適宜更新され、信号対雑音比が悪化した環境下において、ターボ符号の復号特性が更に改善される。

【0042】組織情報系列更新部43、44の各々は、

10

20

30

40

50

硬判定器45、47と、判定値比較器49と、要素復号器入力更新部51とを備えている。硬判定器45は、通信路組織情報系列Uを入力して硬判定を行い、硬判定器47は、軟出力尤度値L2(u)を入力して硬判定を行う。

【0043】判定値比較器49は、硬判定器45、47からの硬判定結果を各々入力して比較し、該比較結果を要素復号器入力更新部51に送出する。要素復号器入力更新部51は、判定値比較器49からの比較結果に基づいて、通信路組織情報系列U及び軟出力尤度値L2(u)に所定の処理を施して通信路組織情報系列Uを選択的に更新し、通信路組織情報系列Uとして軟出力要素復号器11に送出する。

【0044】要素復号器入力更新部51では、各硬判定器45、47からの硬判定結果が等しい旨を示す比較結果が入力された場合には、例えば通信路組織情報系列Uを更新せずそのまま用い、また、各硬判定器45、47からの硬判定結果が異なる旨を示す比較結果を入力した場合には、例えば、通信路組織情報系列Uと軟出力尤度値L2(u)との平均値を求め、新たに通信路組織情報系列Uに更新して出力する。なお、尤度値をより積極的に利用するために、通信路組織情報系列U、軟出力尤度値L2(u)に所定の重み付け係数を乗算した後に平均値を求めても良い。

【0045】組織情報系列更新部44も組織情報系列更新部43と同様に構成し（内容は図示せず）、硬判定器45は上記の通信路組織情報系列Uを入力し、硬判定器47は軟出力尤度値L1(u)を入力する。要素復号器入力更新部51は、判定値比較器49の比較結果に基づいて通信路組織情報系列U及び軟出力尤度値L1(u)に所定の処理を施して通信路組織情報系列Uを選択的に更新し、通信路組織情報系列U1としてインターパ21に送出すると共に、組織情報系列更新部43の硬判定器45に送出する。

【0046】組織情報系列更新部43、44により、前述の第1実施の形態における通信路組織情報系列U及びインターパ21に送出された通信路組織情報系列U'は、通信路組織情報系列U及びインターパ21に送出された通信路組織情報系列U1'に適宜更新されることになる。

【0047】前述のように、軟出力尤度値L1(u)、L2(u)は、組織ビット系列uの尤度情報を示すことから、尤度情報の信頼度が高ければ軟出力尤度L1(u)、L2(u)の符号は通信路組織情報系列Uの符号と一致する筈である。したがって、それらの符号が互いに異なる場合には、どちらかの情報に誤りが含まれると判断でき、誤った尤度値又は通信路値を用いて要素復号を行うことによる復号性能の劣化が回避される。

【0048】本実施の形態における組織情報系列更新部43、44において、判定対象となる通信路組織情報系列Uと軟出力尤度値L2(u)又はL1(u)の硬判定結果が異なる場合にのみ通信路組織情報系列U又はUを更新してい

るが、該硬判定結果が等しい場合にも通信路組織情報系列及び軟出力尤度値の絶対値が大きくなるように更新しても良い。

【0049】図3は、本発明の第3実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。なお、前述の第2実施の形態における構成要素（又は信号）と同じ機能（又は性質）を有する構成要素（又は信号）には、同一符号を付して説明を省略する。

【0050】前述の第2実施の形態に係るターボ符号の復号器と比較して、本実施の形態に係るターボ符号の復号器は、同一構成の冗長情報系列更新部53、54を更に備える。この冗長情報系列更新部53、54により、冗長ビット系列y1、y2（図8参照）に対応する通信路冗長情報系列Y1、Y2の各々が適宜更新され、信号対雑音比が悪化した環境下において、ターボ符号の復号特性が更に改善される。冗長情報系列更新部53、54の各々は、軟入出力符号器55と、硬判定器57、59と、判定値比較器61と、要素復号器入力更新部63とを備えている。

【0051】ここで、冗長ビット系列y1、y2の通信路冗長情報系列Y1、Y2の尤度値は、上述した第1又は第2実施の形態に係る復号器内で得ることはできない。そこで、本実施の形態では、通信路冗長情報系列Y1、Y2の尤度として、それぞれ軟出力尤度L2(u)及びL1(u)を再符号化した値L(y1)及びL(y2)（図示せず）を用いる。上記再符号化には、被符号化ビット系列dを符号化したときと等価の軟入出力軟出力を与える軟入出力符号器（Soft Output RSC Encoder）55を用いる。

【0052】ここで、符号化時に二値（0又は1の1ビット）のa、bに対して行われた排他的論理和演算は、該再符号化の際には扱う値が対数尤度L(a)、L(b)であるため、例えば、以下の式

$$(-1) * \text{sign}[L(a)] * \text{sign}[L(b)] * \min[L(a), L(b)]$$

のような近似演算を用いることができる。硬判定器57は、通信路冗長情報系列Y1を入力して硬判定を行い、硬判定器59は、軟出力尤度値L2(u)が再符号化された値L(y1)を入力して硬判定を行う。

【0053】判定値比較器61は、硬判定器57、59からの硬判定結果を各々入力して比較し、該比較結果を要素復号器入力更新部63に送出する。要素復号器入力更新部63は、判定値比較器61からの比較結果に基づいて、通信路冗長情報系列Y1及び軟出力尤度値L2(u)に所定の処理を施して通信路冗長情報系列Y1を選択的に更新し、通信路冗長情報系列Y1として軟出力要素復号器11に送出すると共に、遅延器24を介して硬判定器57に送出する。

【0054】要素復号器入力更新部63では、各硬判定器57、59からの硬判定結果が等しい旨を示す比較結果が入力された場合には、例えば通信路冗長情報系列Y

1を更新せずそのまま用い、また、各硬判定器57、59からの硬判定結果が異なる旨を示す比較結果を入力した場合には、例えば、通信路冗長情報系列Y1と軟出力尤度値L2(u)との平均値を求め、新たに通信路冗長情報系列Y1として更新する。なお、尤度値をより積極的に利用するために、通信路冗長情報系列Y1、軟出力尤度値L2(u)に所定の重み付けをした後に平均値を求めても良い。

【0055】冗長情報系列更新部54も冗長情報系列更新部53と同様に構成し(内容は図示せず)、通信路冗長情報系列Y2と上記再符号化された値L(y2)(図示せず)を用いる。冗長情報系列更新部54において、硬判定器57は通信路冗長情報系列Y2を入力し、硬判定器59は軟出力尤度値L1(u)が再符号化された値L(y2)を入力する。要素復号器入力更新部63は、判定値比較器61の比較結果に基づいて通信路冗長情報系列Y2及び軟出力尤度値L1(u)に所定の処理を施して通信路冗長情報系列Y2を更新し、通信路冗長情報系列Y2として軟出力要素復号器27に送出すると共に、遅延器26を介して冗長情報系列更新部54に送出する。

【0056】冗長情報系列更新部53、54により、前述の第1又は第2実施の形態における通信路冗長情報系列Y1及びY2は、通信路冗長情報系列Y1及びY2に適宜更新されることになる。本実施の形態における冗長情報系列更新部53、54において、判定対象となる通信路冗長情報系列Y1、Y2、及び再符号化された値L(y1)、L(y2)の硬判定結果が異なる場合にのみ通信路冗長情報系列Y1又はY2を各々更新しているが、該硬判定結果が等しい場合にも通信路冗長情報系列及び再符号化された値の絶対値が大きくなるように更新しても良い。

【0057】図4は、第1実施の形態に係るターボ符号の復号器のビット当たりの信号対雑音電力比-ビット誤り率特性を示す図である。図4には、第1実施の形態に係るターボ符号の復号器における繰返し回数が1回(it=1(prop))から8回(it=8(prop))の4種類の場合の特性がプロットされており、同様に従来のターボ復号器における繰返し回数が1回(it=1(conv))から8回(it=8(conv))の4種類の場合の特性がプロットされている。本実施の形態によれば、信号対雑音比が低い環境において、繰返し復号回数の増加に伴いビット誤り率特性が従来に比べて大きく改善されることが示される。

【0058】図5は、第1実施の形態に係るターボ符号の復号器の繰返し復号回数-ビット誤り率特性を示す図である。図5は図4に関連して、第1実施の形態に係るターボ符号の復号器における信号対雑音比が1dB(1dB(prop))、及び2dB(2dB(prop))の2種類の場合の特性がプロットされており、同様に従来のターボ復号器における信号対雑音比が1dB(1dB(con

v))、及び2dB(2dB(conv))の場合の特性がプロットされている。例えば、従来と本実施の形態における信号対雑音比が2dBの各プロットに着目した場合、従来において繰返し復号回数を増加してもビット誤り率特性がさほど改善されない領域(例えば、繰返し回数3回以降)において、本実施の形態によれば繰返し復号の効果によりビット誤り率特性が大きく改善されることが示される。

【0059】本発明の第4実施の形態に係るターボ符号の復号器について説明する。上述の第1から第3実施の形態においては、軟出力尤度値L1(u)、L2(u)の更新処理を、それらの符号の比較結果に基づいて実行しているが、各軟出力要素復号器での系列の同期をとるために復号処理時間分の遅延器を必要としている。

【0060】本実施の形態では、軟出力尤度値L1(u)、L2(u)の各々に所定の重み係数 α を乗ずることにより、軟出力尤度値L1(u)、L2(u)の誤り率が低減され、ターボ符号の復号器の繰返し回数を減らし、繰返し復号の収束性が向上される。本発明の第5実施の形態に係るターボ符号の復号器について説明する。慣例的に信号対雑音特性が十分に高い場合には、外部尤度情報Le1(u)及びLe2(u)の符号は最終復号結果 \hat{d} に実質的に一致することが知られている。

【0061】本実施の形態では、上述の第1～第4実施の形態に係る構成に対して、外部尤度情報Le1(u)、Le2(u)の符号の制御機能を組み合わせた構成とする。上述した判定値比較器17(又は39)における比較結果に基づいて、軟出力尤度値L1(u)(又はL2(u))から外部尤度情報Le1(u)(又はLe2(u))を求めた際に、符号の変化(+から-、又は-から+)にตอบสนองして、強制的に0を出力することにより外部尤度情報Le1(u)(又はLe2(u))の符号を制御する。

【0062】なお、上述した第1～第5実施の形態では、軟出力要素復号器11、27における処理時間に相当する遅延時間を有する遅延器23、25、33及び35を設けているが、尤度更新処理部15、37において比較される軟出力尤度値L1(u)、L2(u)の各々に対応する硬判定結果75、91が時間的に揃えば良い。例えば、インタリーバ21及びデインタリーバ29にメモリが用いられる場合には、該メモリは該遅延器と等価に格納処理を行うため、メモリの格納時間を制御することにより遅延器23、25、33及び35を省くことができる。

【0063】また、上述した第1～第5実施の形態では、インタリーバ21及びデインタリーバ29にはメモリを用いた構成を前提としているが本発明を限定するものではなく、所定の順序でデータを攪拌する構成であれば良い。さらに、上述した第1～第5実施の形態では、尤度更新処理部15、37において、判定対象の尤度値の硬判定結果75、91が異なる場合にのみ軟出力尤度値L1(u)、L2(u)を更新しているが、硬判定結果75、9

13

1が等しい場合にも尤度の絶対値が大きくなるような更新処理を行うことも可能である。

【0064】また、さらに、上述した第1～第5実施の形態では、各軟出力要素復号器11、27の後段に尤度更新処理部15、37を設けているが、回路構成の簡略化を考慮して、軟出力要素復号器11(27)と尤度更新処理部15(37)との組数を減らす(但し1組以上は必要)ことも可能である。

【0065】図6は、軟出力復号器を1つ有する一般的なターボ復号器の構成を示すブロック図である。なお、図8に示したデータと同じ性質を有するデータには、同一符号を付して説明を省略する。このターボ復号器は、軟出力要素復号器160と、インタリーバ155、157と、デインタリーバ159と、硬判定器122、及びセクタ147、149、151、153とにより構成される。

【0066】奇数回目の復号処理において、セクタ147、149及び151の各々は、繰り返し制御信号145に基づいて、通信路組織情報系列U、通信路冗長情報系列Y1及び外部尤度情報Le2(u)を軟出力要素復号器160に送出する。軟出力要素復号器160は、通信路組織情報系列U、通信路冗長情報系列Y1及び外部尤度情報Le2(u)を入力して外部尤度情報Le1(u)を出力する。セクタ153は、繰り返し制御信号145に基づいて外部尤度情報Le1(u)をインタリーバ157に送出する。インタリーバ157は、外部尤度情報Le1(u)を所定のデータ順序に撹拌する。インタリーブされた外部尤度情報Le1'(u)は、次の復号処理に用いられる。

【0067】偶数回目の復号処理において、セクタ147、149及び151の各々は、繰り返し制御信号145に基づいて、インタリーブされた通信路組織情報系列U'、通信路冗長情報系列Y2及びインタリーブされた外部尤度情報Le1'(u)を軟出力要素復号器160に送出する。軟出力要素復号器160は、インタリーブされた通信路組織情報系列U'、通信路冗長情報系列Y2及びインタリーブされた外部尤度情報Le1'(u)を入力して、インタリーブされた軟出力尤度値L2'(u)及び外部尤度情報Le2'(u)を出力する。セクタ153は、繰り返し制御信号145に基づいてインタリーブされた軟出力尤度値L2'(u)及び外部尤度情報をデインタリーバ159に送出する。デインタリーバ159は、インタリーバ157とは逆のデータ順序に撹拌し、外部尤度情報Le2(u)を次の復号処理のために送出する。また、この外部尤度情報Le2(u)は、硬判定器122により最終復号結果d^hとして出力される。

【0068】図6に示すターボ復号器では、繰り返し制御信号145に応答して奇数回目及び偶数回目の復号処理が実現される。この構成を図1に示す本発明のターボ符号の復号器に適用した場合には、例えばセクタ153とインタリーバ157との間に尤度更新処理部15を

14

挿入し、セクタ151とデインタリーバ159との間に尤度更新処理部37を挿入し、この尤度更新処理部15、37の各々に図1に示す所定のデータを入力することにより構成できる。また、尤度更新処理部15(37)を1つ用い、繰り返し制御信号145に応じて、セクタ153からの外部尤度情報Le1(u)とデインタリーバ159からの外部尤度情報Le2(u)とを選択的に入力し、図1に示す所定のデータを入力するように構成しても良い。

【0069】また、図6に示す構成を図2又は図3に示す本発明のターボ符号の復号器に適用する場合には、例えばセクタ153とインタリーバ157との間に尤度更新処理部15を挿入し、セクタ151とデインタリーバ159との間に尤度更新処理部37を挿入する。さらに、通信路組織情報系列Uと軟出力尤度値L2(u)とを入力して通信路組織情報系列Uを出力する組織情報系列更新部43(44)、または、通信路冗長情報系列Y1と軟出力尤度値L2(u)又はL1(u)とを入力して通信路冗長情報系列Y1、又はY2を出力する冗長情報系列更新部53又は54を設けることにより構成できる。

【0070】本発明に係るターボ符号の復号器は、軟出力要素復号器11を1つ設けて構成しても良いし、複数設けて構成しても良い。いずれにしても、軟出力要素復号器11(27)は、通信路組織情報系列U、及び通信路冗長情報系列Y1、Y2と、前回の復号処理による外部尤度情報(事前尤度情報)とを入力して軟出力尤度値(事後尤度情報)を出力する。尤度更新処理部15(37)は、今回の事後尤度情報と前回の事後尤度情報とに基づく比較結果に応じて、次の事前尤度情報を選択的に更新し、この更新された事前尤度情報を次の復号処理に用いる。

【0071】また、組織情報系列更新部43(44)は、前回の事後尤度情報と通信路組織情報系列U(U)とを比較して通信路組織情報系列U(U)を選択的に更新するものであり、冗長情報系列更新部53(54)は、前回の事後尤度情報と通信路冗長情報系列Y1(Y2)とを比較して通信路冗長情報系列Y1(Y2)を選択的に更新する。以上の構成であれば本発明を限定しない。

【0072】また、本発明のターボ符号の復号器は、このターボ符号の復号器を機能させるためのプログラムによっても実現される。このプログラムは、例えばCD-ROM等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に格納されている。図7は、本発明のターボ符号の復号器の動作を実行するプログラムを記録した記録媒体を収容するシステムの構成例を示すブロック図である。このシステムは入力装置107と、CPU108と、ROM109と、RAM111と、表示装置139、及びCD-ROMドライバ143とにより構成される。

【0073】本発明のターボ符号の復号器の動作を実行

するプログラムを記録した記録媒体は、ROM109そのものであっても良いし、また、外部記憶装置としてCD-ROMドライブ143等のプログラム読み取り装置が設けられ、そこに挿入することで読み取り可能なCD-ROM141等であっても良い。また、上記記録媒体は、磁気テープ、カセットテープ、フロッピーディスク、ハードディスク、MO/MD/DVD等、又は半導体メモリであっても良い。

【0074】

【発明の効果】本発明によれば、通信路の信号対雑音比が十分でない環境下において、ターボ符号の復号器における誤り訂正能力が向上される。特に、ターボ符号の復号処理の過程において、軟出力尤度値及び外部尤度情報だけでなく、復号器へ入力される通信路組織情報系列U及び通信路冗長情報系列Y1、Y2も適宜更新することにより、繰返し復号処理で扱う尤度値の信頼度を高めることができ、誤り率特性を改善できる。

【0075】また、復号処理の過程において、尤度情報の信頼度及び収束性を高め、誤り率を改善しつつ、復号処理規範に従う処理遅延時間を短縮化できる。さらに、復号器への入力及び要素復号器間で受け渡しを行う尤度値を更新しているため、選択する要素復号器のアルゴリズムに依らず広く実施できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第2実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第3実施の形態に係るターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の第1実施の形態に係るターボ符号の復号器のビット当たりの信号対雑音電力比に対するビット誤り率特性を示す図である。

【図5】本発明の第1実施の形態に係るターボ符号の復号器の繰返し復号回数に対するビット誤り率特性を示す図である。

【図6】軟出力復号器を1つ有する一般的なターボ符号の復号器の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明のターボ符号の復号器の動作を実行するプログラムを記録した記録媒体を収容するシステムの構成例を示すブロック図である。

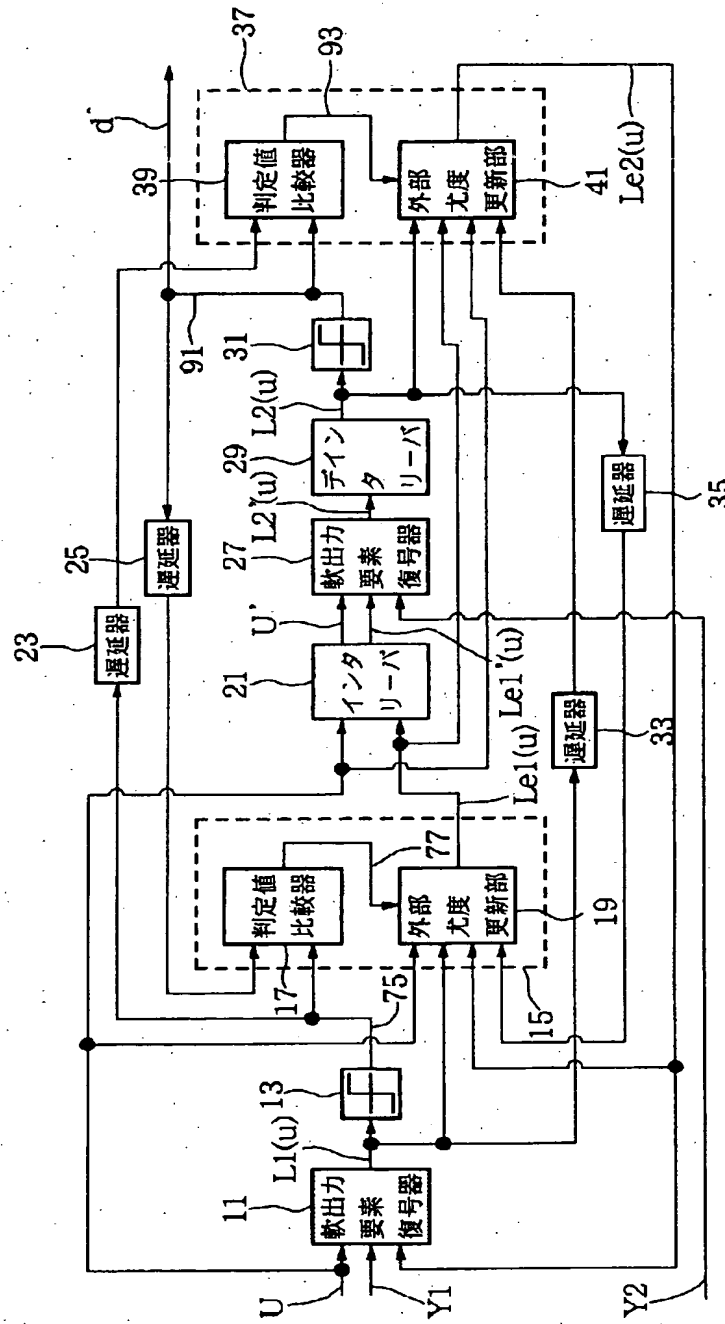
【図8】公知技術であるターボ符号器（符号化率 $r=1/3$ ）の構成を示すブロック図である。

【図9】公知技術であるターボ復号器の構成を示すブロック図である。

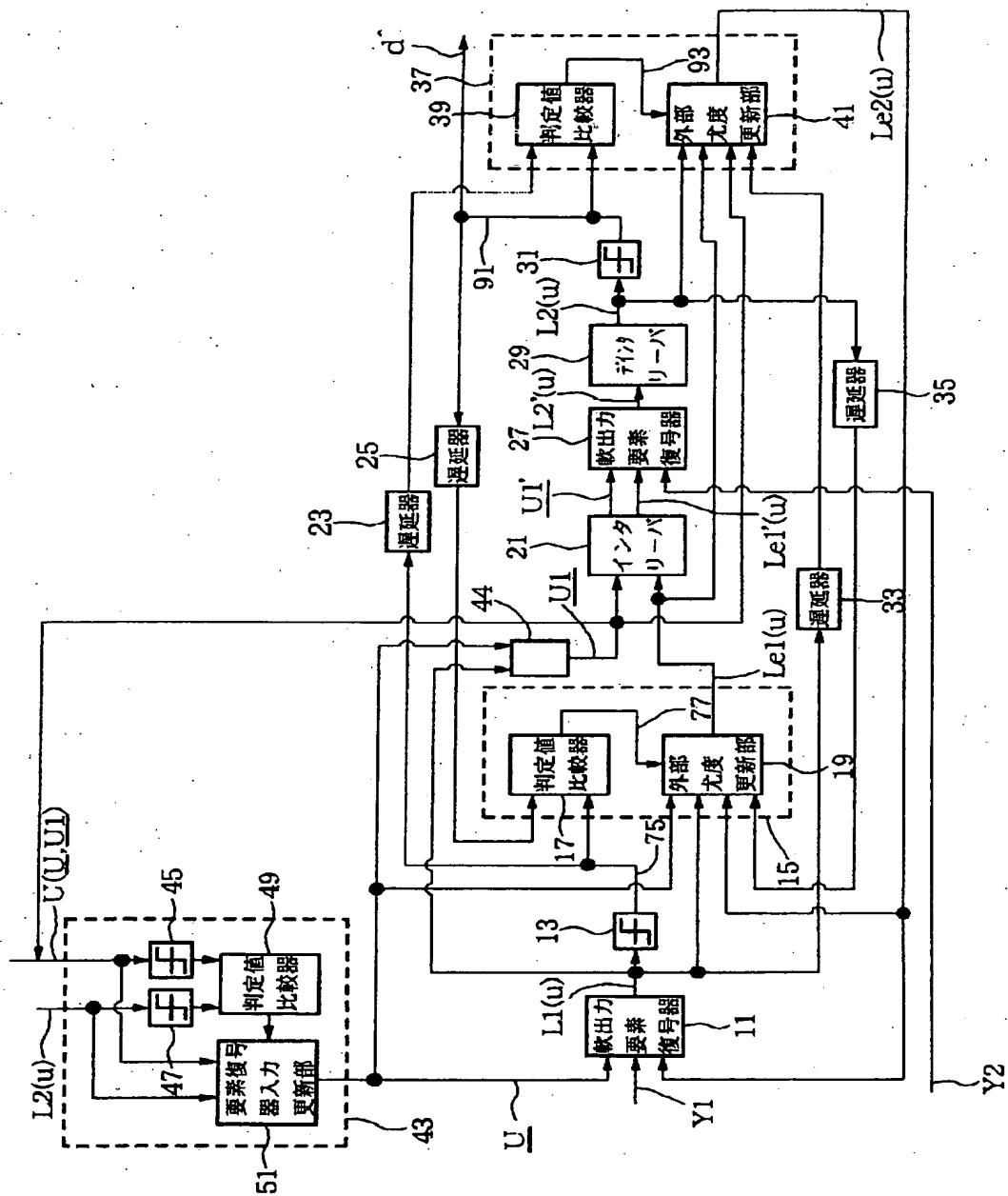
【符号の説明】

U, U, U1: 通信路組織情報系列
Y1, Y1, Y2, Y2: 通信路冗長情報系列
L1(u), L2(u): 軟出力尤度値
Le1(u), Le2(u): 外部尤度情報
U', U': インタリーブされた通信路組織情報系列
Le1'(u), Le2'(u): インタリーブされた外部尤度情報
L2'(u): インタリーブされた軟出力尤度値
d: 被符号化ビット系列
u: 組織ビット系列
y1, y2: 冗長ビット系列
d̂: 最終復号結果
11, 27, 101, 103, 160: 軟出力要素復号器
13, 31, 45, 47, 57, 59, 121, 122: 硬判定器
15, 37: 尤度更新処理部
17, 39, 49, 61: 判定値比較器
19, 41: 外部尤度更新部
21, 105, 115, 155, 157: インタリーブ
23, 24, 25, 26, 33, 34, 35, 36: 遅延器
29, 119, 159: デインタリーブ
43, 44: 組織情報系列更新部
51, 63: 要素符号器入力更新部
53, 54: 冗長情報系列更新部
55: 軟入出力符号器
75, 91: 硬判定結果
77, 93: 比較結果
107: 入力装置
108: CPU
109: ROM
111: RAM
139: 表示装置
141: CD-ROM
143: CD-ROMドライブ
113, 117, 160: 要素復号器
145: 繰返し制御信号
147, 149, 151, 153: セレクタ

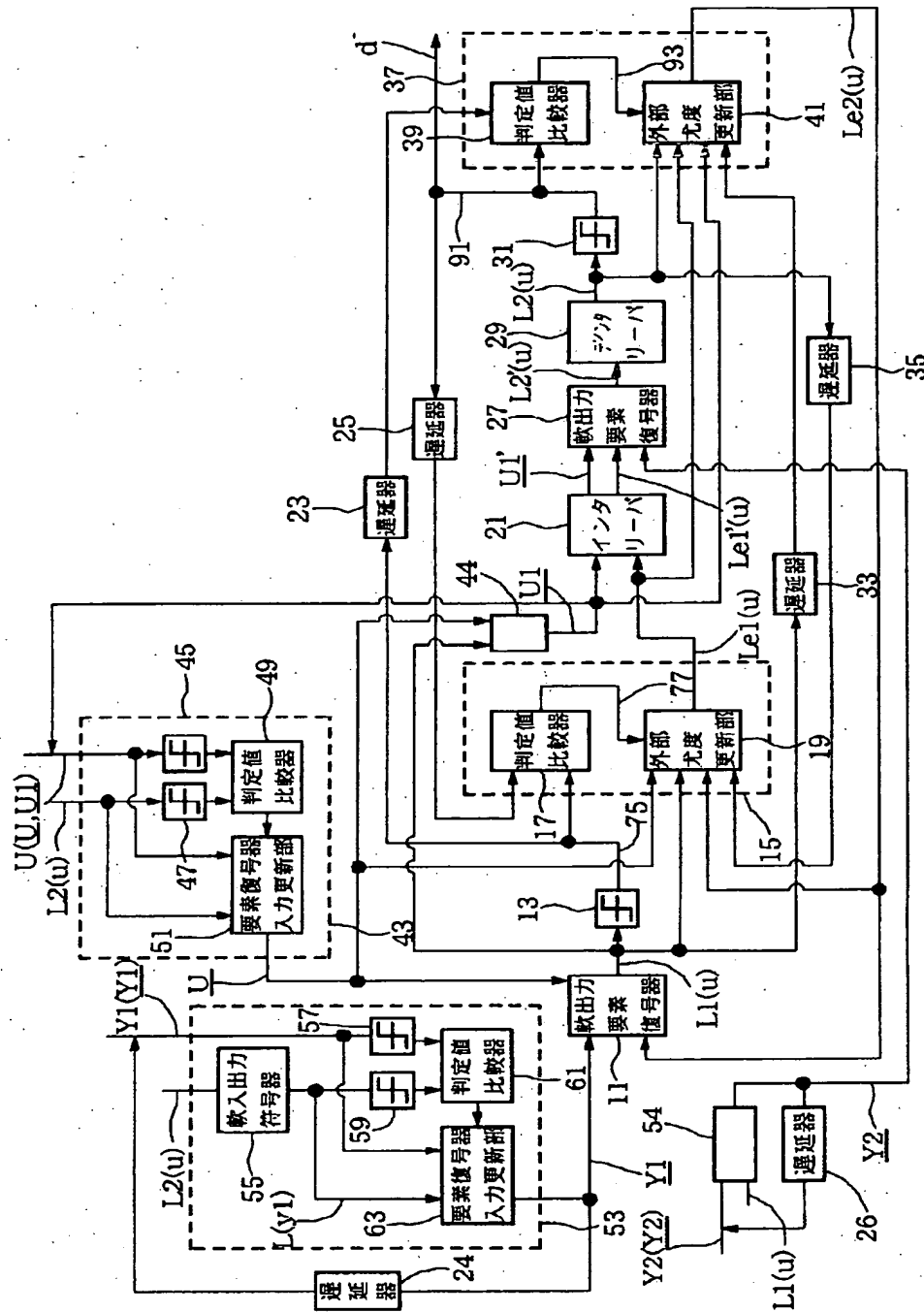
【図1】



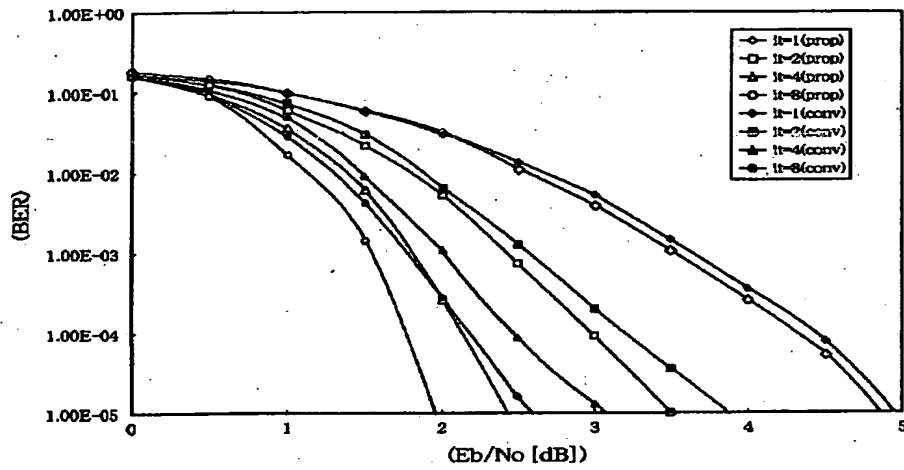
【図 2】



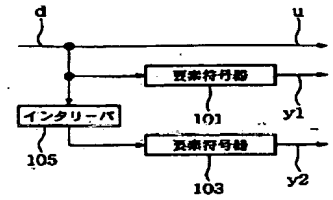
【図 3】



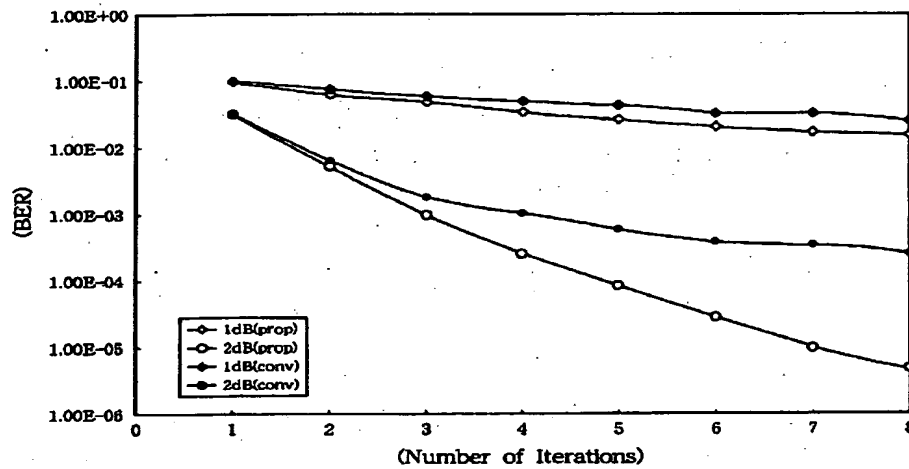
【図4】



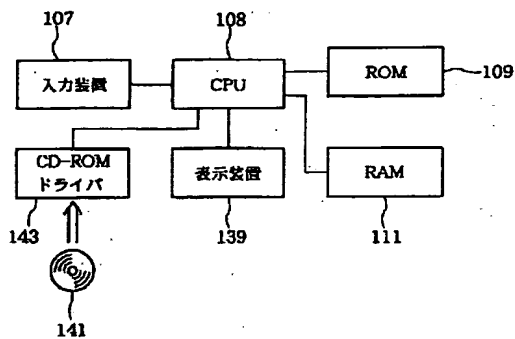
【図8】



【図5】



【図7】



【図9】

